

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ НАВОДОРОЖИВАНИИ ТИТАНА BT 1-0

Ионова Н.А.

Руководитель – м. н. с., к.т.н. Надежкин М.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
mvn@ispms.ru

Рассмотрены закономерности локализации пластического течения в электролитически насыщенном водородом титане BT 1-0. Экспериментально установлено, что на всех стадиях процесса деформация протекает локализовано в соответствии с законом пластического течения для металлических материалов. Определено влияние наводороживания на пространственный период локальных деформаций на стадии параболического упрочнения.

В последние годы все большее внимание привлекает проблема водородной обработки титана и его сплавов [1], которая включает в себя водородное пластифицирование и термоводородную обработку. Экспериментальные исследования макроскопической локализации пластической деформации металлов и сплавов показали, что проявления макролокализации существуют на всех стадиях пластического деформирования, начиная от предела текучести и вплоть до разрушения, причем каждая из стадий характеризуется вполне определенной картиной макроскопической локализации пластической деформации [2]. Однако влияние водорода на процесс макроскопической локализации деформации в ГПУ металлах подробно не исследовалось.

В настоящей работе проведены исследования влияния водорода на картины локализации деформации на различных стадиях пластического течения при одноосном растяжении поликристаллических образцов BT1-0. Образцы были изготовлены в форме двухсторонней лопатки с размерами рабочей части 50x10x2 мм. Сплав BT 1-0 имел полностью рекристаллизованную структуру со средним размером зерен 12,5 мкм. Наводороживание образцов осуществляли в трехэлектродной электрохимической ячейке при постоянном контролируемом катодном потенциале, задаваемом относительно хлорсеребряного электрода сравнения, в 1N растворе серной кислоты с добавлением тиомочевины 20 мг/л при температуре 323 К в течение времени от 8 до 24 часов. Данная методика, по сравнению с традиционной двухэлектродной схемой, обеспечивает более равномерное распределение водорода по объему образца [3].

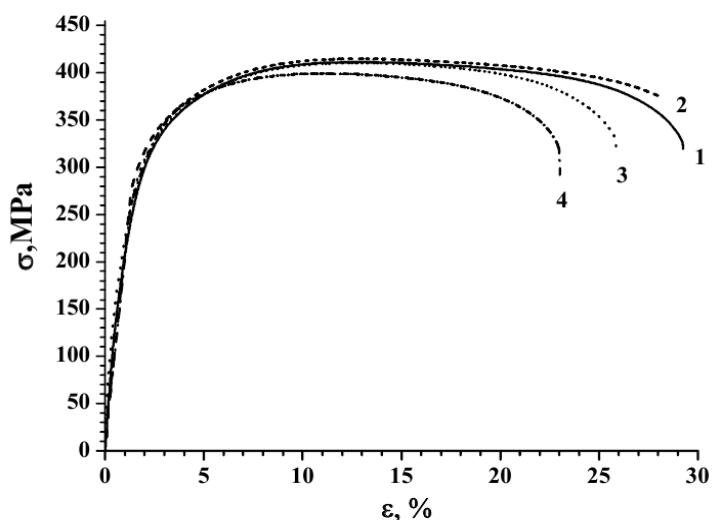


Рис. 1. Деформационные кривые исследованных образцов ВТ 1-0.
1- исходный, 2-4 – наводороженный 8ч, 16ч и 24ч соответственно.

Для исследований макроскопической локализации пластического течения использовалась методика двухэкспозиционной спекл-фотографии [2], сочетающей в себе возможности наблюдения всей рабочей поверхности деформируемого образца (характерный размер поля зрения $\sim 100 \times 100$ мм) с разрешающей способностью на уровне оптического микроскопа (~ 1 мкм). Результатом обработки спекл-изображений являются продольная, сдвиговая и поворотная компоненты тензора деформации.

Результаты механических испытаний на растяжение при комнатной температуре образцов ВТ 1-0 показали, что в исходном состоянии и после электролитического насыщения водородом в течение 8 часов наблюдается самая высокая пластичность и прочность (рис. 1). С увеличением длительности наводороживания до 24 часов происходит уменьшение прочности и пластичности материала. Анализ деформационных кривых $\sigma(\epsilon)$ (рис. 1) показал, что для исследуемого титана ВТ 1-0 характерно наличие стадий параболического упрочнения с коэффициентом параболичности $n \approx 0,5$ (стадия Тейлора) и предразрушения с коэффициентом параболичности $n \leq 0,5$ при построении кривой деформационного упрочнения в логарифмических координатах истинных напряжений $\ln(S-S_0)$ и деформаций $\ln(\epsilon)$ (S_0 – предел текучести).

Ранее установлено [2], что характер распределения очагов пластической деформации зависит от стадии деформационного упрочнения, так на параболической стадии наблюдается стационарная картина очагов локализованной деформации. Обработка деформационных кривых образцов ВТ 1-0 исходных и после наводороживания в течение 8, 16 и 24 часов показала, что наводороживание в течение 8 часов обеспечивает наибольшую протяженность стадии параболического упрочнения ($n \approx 0,5$) до 4,7%. В исходном образце, а также наводороженных в течение 16 и 24 часов

протяженность параболической стадии ($n \approx 0,5$) составила, соответственно, 3,7%, 2,9%, 2,0%.

Анализ распределений локальных деформаций в образцах ВТ 1-0 при разных временах наводороживания показал, что в каждый момент времени пластическая деформация локализована в определенных зонах образца, в то время как другие объемы материала практически не изменяются. В образцах ВТ 1-0, без водорода, на стадии параболического упрочнения локальные деформации располагаются эквидистантно ($\lambda = 4.0 \pm 1$ мм). Шаг локальных распределений деформаций на стадии с $n \approx 0,5$ в образце ВТ 1-0 после электролитического насыщения водородом в течение 8 часов составляет $\lambda = 6.0 \pm 1$ мм. Увеличение времени насыщения водородом до 24 часов образца ВТ 1-0 приводит к увеличению расстояния между очагами ($\lambda \approx 7.0 \pm 1$ мм). Для всех исследованных образцов на стадии с $n \approx 0,5$ распределение локальных удлинений является стационарным, то есть, очаги локализации остаются неподвижными в течение всей стадии (рис. 2 а). На заключительной стадии деформация развивается наиболее интенсивно в одном из очагов, который затем развивается в шейку. Развитие очага будущего разрушения хорошо прослеживается на полутонковых изображениях распределения компоненты продольной деформации ϵ_{xx} с течением времени или деформации (рис. 2 б).

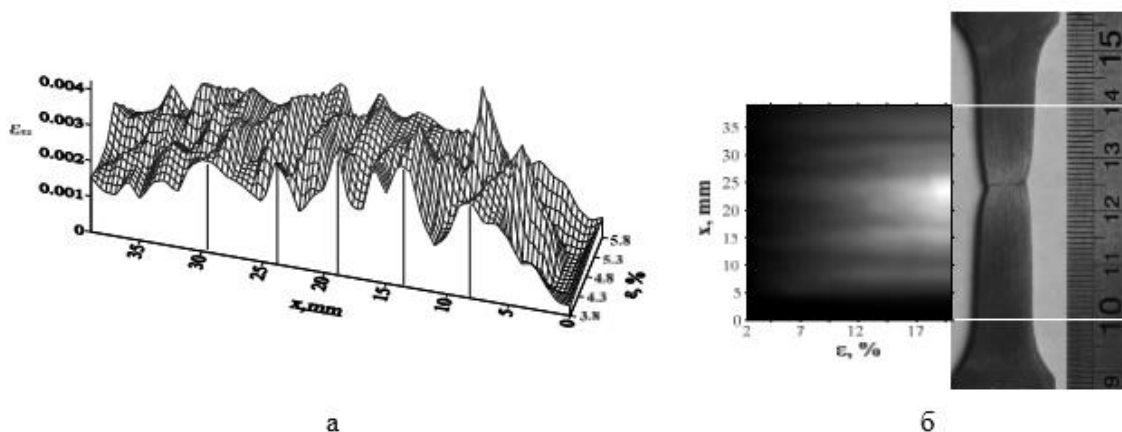


Рис. 2. Распределение компоненты ϵ_{xx} по образцу: а - на стадии параболического упрочнения ($n \approx 0.5$) при насыщении водородом в течение 24 часов; б - на стадии предразрушения ($n \leq 0.5$) при насыщении водородом в течение 16 часов

Таким образом, в результате проведенных исследований по влиянию водорода на пластическое течение титана ВТ1-0 показано изменение картин локализации деформации в процессе нагружения. Установлено, что водород усиливает локализацию на макромасштабном уровне, что проявляется в изменении пространственного периода локальных деформаций на стадии параболического упрочнения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Взаимодействие водорода с металлами / Агеев В.Н. и др. - М.: Наука, 1987. - 296 с.
2. Зуев, Л.Б. Физика макролокализации пластического течения / Зуев Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А. - Новосибирск: Наука, 2008. - 327 с.
3. Hydrogen Solubility and Diffusion in Austenitic Stainless Steels Studied with Thermal Desorption Spectroscopy / Y. Yagodzinsky, O. Todoshchenko, S. Papula, and H. Hanninen // Steel research int. – 2011. – №1. – P. 20-25